



高品質果樹生産のための IoT 利用技術

基
専

亀岡孝治（三重大学大学院生物資源学研究科）



果樹園のための IoT とは

本稿では常緑樹である温州ミカンと落葉樹であるワイン用ブドウを例に挙げながら、永年作物である果樹の栽培支援のための圃場（ほじょう：田畠、農場）における IoT 利用技術について解説する。

IoT 技術を活用し、「経験と勘」だけに頼らない農業を目指す経営に期待が高まる中で、計測技術・センサ開発と ICT は「経験と勘」の補完に大きく貢献し始めている。多数のセンサとフィールドサーバ (FS, 2001 年頃に開発) に代表される無線 LAN 通信装置を装備した圃場用センサネットワークを用いて生育環境データを取得したり、近隣のアメダス気象データを取得してデータ蓄積を行い、蓄積データを用いた生育環境データ解析を通して栽培作物の近未来の状態を予測することで、農作物の生産見通しを立てることが可能となりつつある。

そこで、以下では常緑樹である温州ミカンと落葉樹であるワイン用ブドウを例にとり、どのようにデータを収集し、分析するのか、また、品質向上に結び付ける技術の可能性について、解説していく。

果樹園における情報収集

農産物の生産現場を起点に、加工・流通を経て私たち消費者の口に入るまでの複雑な過程はフードシステムと呼ばれる。現在の IoT 技術は、このフードシステム全体の情報収集と詳細な解析を可能にしつつある。つまり、農業の ICT においては、フードシステム全体を意識しながら、農場における IoT,

すなわち「圃場作物の生育モニタリングのためのセンシングデバイスシステム」を農作物側の植物生理と関連させて整理していくことがきわめて重要である。また、フードシステムを意識しつつ、高度なセンシング技術、クラウドサービス、および解析技術等を駆使した科学的農業を実践することは、地勢学的な特色（風土）を積極的に活用する「スマート農業」を実現するための切り札とも考えられる。

工業現場と異なり、圃場では、農作物を取り巻く生育環境の計測は可能であるが制御は不可能である。一方、対象となる農作物（植物体）側においては、荒っぽい制御は可能であるが植物生理・機能など満足のいく計測は難しい。したがって、農業現場での農作物の生育モニタリングを考える場合、計測対象を、制御不能な生育環境を有する場としての「圃場」とそれ以外の「農作物、農業者、および土壤・土壤微生物」に分けて考えることが重要となる。圃場では、生育条件の大部分を構成する気象条件（温湿度、風向・風速、気圧、降雨、日射量）は農作物と無関係に地理的位相で定まるため、それぞれの生物が四季の変化に応じて自身をコントロールしていることを意味するフェノロジー（生物季節）からの視点が、計測では重要となる。このフェノロジーからは、毎日の平均気温の積算値（有効積算温度）や毎日の日射量の積算値（積算日射量）をはじめ数々の 2 次栽培指標が産み出されており、これらが気候変動のモニタリングにおける重要指標となることが分かる。

5. 高品質果樹生産のための IoT 利用技術



図-1 eKo と FS による柑橘栽培支援システム

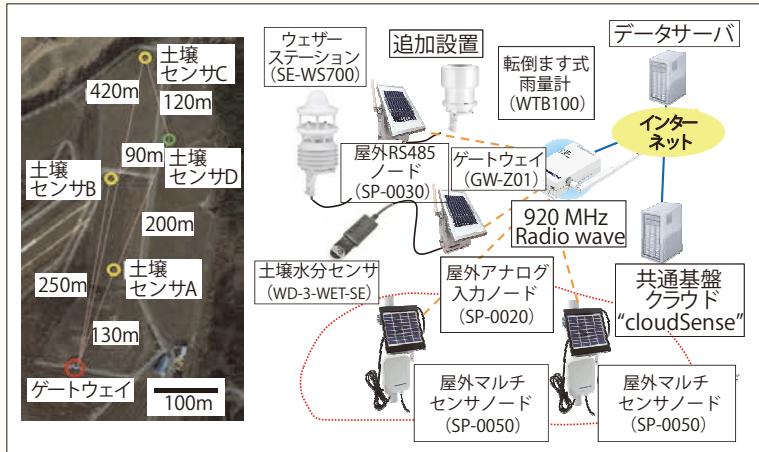


図-2 生育環境計測 WSN (登美の丘ワイナリー)

圃場の無線センサネットワーク (WSN)

FS に端を発する農業向けの計測機器やセンサ開発、圃場センサネットワーク研究が飛躍的に進展し実用的利用が進んだおかげで、生育環境（気象・土壤環境）のモニタリングとデータ蓄積が容易になるとともに、フェノロジー指標である 2 次情報としての有効積算温度と積算日射量も簡単に計算・出力できるようになった。2006 年には屋外・農業用 WSN として eKo (当時の Crossbow Technology 社) が開発され、eKo と FS の併用システム（垂直統合型）を用いた高品質ミカン生産のための実証実験が 2008 年から三重県熊野市金山パイロットファームみかん園地で行われた（図-1）。サントリー登美的丘ワイナリーでも eKo を用いた実証実験がワイン

用ブドウ栽培を対象に開始された。

この実証実験を通して明らかになった今日に至る圃場 WSN の最大の問題点は、無線基地局とゲートウェイサーバの起動に必要となる電源確保、防水である。そのほかの重要な点は、土壤水分センサ設置方法、通信の安定性の確立、システム再起動の問題、鳥獣害対策および異常監視機能の必要性、作業機による断線対策などである。つまり、オフィスでの WSN では生じ得ない事象に対する調査と事前対策が必須となる。

圃場 WSN から圃場 IoT へ

圃場 WSN と圃場 IoT との違いは、垂直統合システムから水平統合システムへの進化に尽きる。圃場 IoT システムでは、圃場の生育環境や農作物の生育状況などの情報がセンサと WSN が統合されたセンシング層で自動収集され、続いてクラウド（基盤情報サービス層）に入る。サービス層を構成するクラウド上ではサービスが提供され、ほかの農業情報と組み合わされることで、栽培管理作業情報や経営情報などが農家にサービスとして提供される。

センシング層では、圃場の気象や土壤情報の生育環境情報、農作物の生育情報が各種センサから WSN を経由して、また圃場での生育管理情報などがスマートフォン経由でサーバに供給される。従来、WSN では 2.4GHz 帯が用いられてきたが、2.4GHz 帯に起因する農業現場の高水分農作物による減衰の問題が改善されることに加え、センサノード間の通信距離が飛躍的に伸びることを考えると、現状では圃場 IoT では 920MHz 帯の利用が好ましい。図-2 に、サントリー登美的丘ワイナリーで、ワイン用ブドウ栽培支援のために 2015 年から稼働を始めた生育環境計測のための WSN の例を示す。

WSN からのデータは中部大学本多潔教授が運用

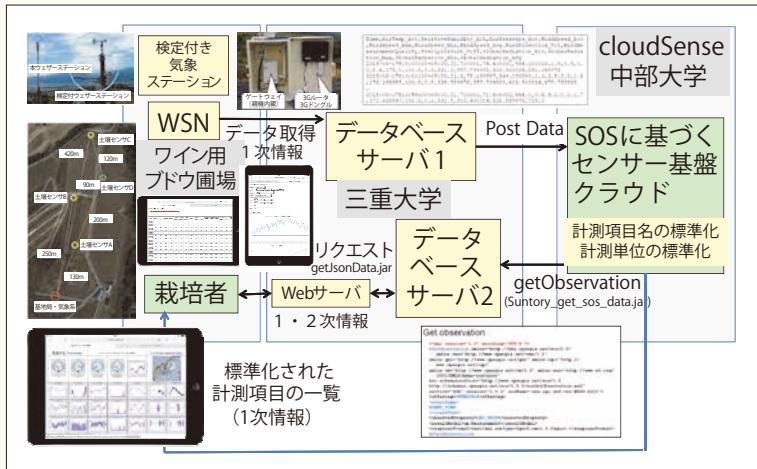


図-3 ワイン用ブドウ栽培支援システム

するセンサ基盤クラウドサービス (cloudSense) に送られ標準データとなる。また、水平に広がるほかの IoT サービスとの連携はセンサ基盤クラウドサービスとほかのサービスとの API 連携で達成される。

基盤情報サービス層は、センシング層から入力された情報とほかの関連サーバ等から入手した情報を総合して、データ間の相違を整理して統一フォーマットでデータベースに登録し、ユーザサービス層からの要求に応じて必要データを供給する。この層は上下各層へのデータ格納、問合せ、取得機能を Web API として提供する機能を担うため、データとシステムの相互運用性 (Interoperability) の確保のためにきわめて重要である。また、この基盤情報サービス層は、標準規格で記述されるセンサデータや農作業履歴データを格納し、Sensor Observation Service (SOS) などの標準 API、またはオープンな API も提供する。この結果、ユーザサービス層における環境情報サービス、生育情報サービス、生産履歴情報サービス、流通情報サービスなどがセンサの物理構成やフォーマットの違いから解放され、アプリケーションにおけるデータとシステムの相互運用性が実現される。

ユーザサービス層は、利用者（農家や消費者など）の要求に応じて、必要な Web サービスを提供し、必要データは、基盤情報サービスから得ることになる。農業 IoT システムのサービス例として図-3 にワイン用ブドウの栽培支援用の 1 次・2 次の栽培指

提供システムを示す。

ここで、1 次栽培指標は生育環境データ表現であり、2 次栽培指標は、世界に広がるワイン用ブドウ栽培管理の研究をもとに半理論的に創り上げられた有効積算気温などの指標である（図-4）。

穀物や野菜などと異なり、永年作物である果樹は毎年樹体のサイズはほとんど変わらないが、毎年冬から春の間に光合成効率と転流などをイメージしながら行われる剪定により樹形が整えられた上で、草生栽培をベースに、新葉と転葉、開花、摘蕾・摘花・摘果、防除、収穫などの栽培管理が行われていく。果樹栽培では、常緑樹（温州ミカンなど）と冬期は冬眠する落葉樹（ブドウなど）という違いがあり、収穫後から翌年の春までの樹体の活動形態は異なるため、栽培管理にも違いが出る。このような植物生理を踏まえた栽培管理のために栽培ステージと関連するさまざまな 2 次栽培指標が準備されているわけである。圃場 IoT では、対象農作物ごとに用いるセンサ情報や提供する情報は異なるため、最終的な Web サービスの表示形態も異なる。また個別の情報の更新および利用頻度も農作物や利用環境によって異なるため、これらに応じた直感的で使いやすいユーザインターフェースの設計が重要となる。

農作物の収量と品質向上へのシナリオ

すでに述べたとおり、農業現場で農作物の生育過程を効果的にモニタリングするためには、生育環境計測に加え、植物生理学に基づく新たなセンシング戦略が不可欠である。つまり、圃場作物においては、土壤・植物・大気連続系での水・ミネラルの流れ（土壤水分、樹液流、蒸散流）、群落光合成を起点とする植物体内のエネルギー物質（糖・アミノ酸）の流れ（転流）、および対象農作物あるいは果実の非破壊・非接触での生長計測（色彩・形状など）と品質計測（成分糖、有機酸、アミノ酸、機能性成分）などが必要となる。

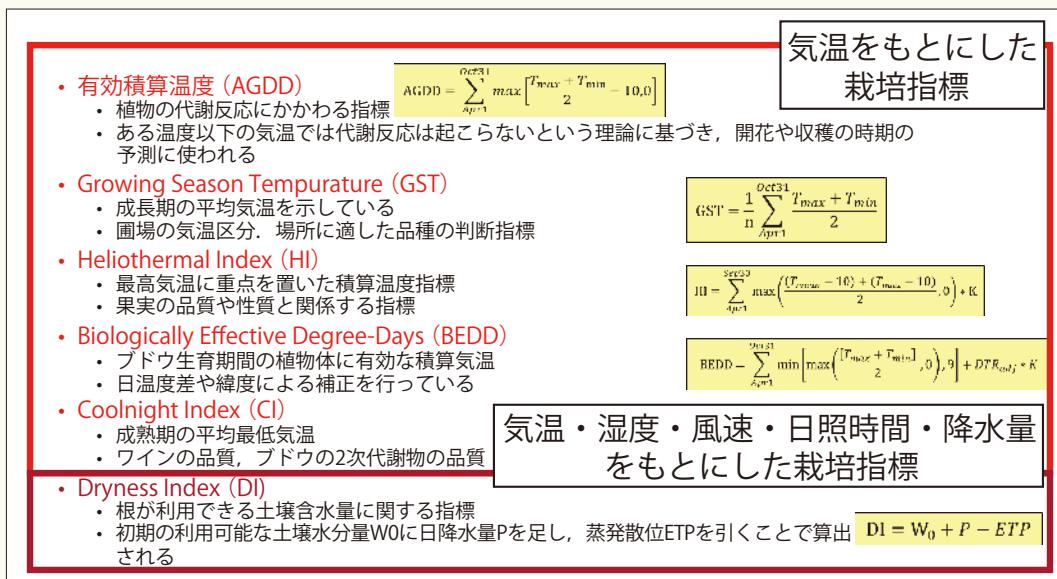


図-4 ワイン用ブドウ品質に関する栽培指標

このような中、樹液流計測が果樹や果菜類でも可能となり、さまざまなタイプの携帯型の分光計測装置も登場し、近い将来 WSN からの情報とデータ統合された圃場計測システムへの期待が高まっている。温州ミカンの栽培現場では、植物の生理状態に応じて変化する葉内色素（クロロフィル・フラボノイド・アントシアニン）の定量が可能な蛍光分光装置、植物体内の必須元素の定量が可能な蛍光 X 線分光装置、蒸散に伴う葉温の現場計測が可能な熱画像カメラによる、「樹勢の強い樹体」と「樹勢が弱い樹体」の判定を行う実証実験が始まっている。現状では、土中から植物中への水・ミネラル・共生微生物の移動状況、植物の状態計測は依然としてきわめて難しく、今後さらにさまざまな戦略的植物センサの開発が必要である。

さらに、高収量と高品質を目指す、より高度なサービスのためには果樹の栽培モデルと不確実性を予測に反映させリスク管理を可能にする気象ジエネレータによる予測が不可欠である。センシングデータ、確率モデルと機械学習、ビッグデータと深層学習などに基づく栽培管理サービスや経営支援サービスを実現するためにも、圃場 IoT により農作物の状態を計測し栽培管理に反映させる新たな栽培技術体系の構築が急務である。

圃場 IoT の展開

圃場 IoT とはテロワール（生育環境・植物・群落管理：農業者の振舞い）のセンシングシステムにほかならず、圃場 IoT が受け持つべきセンシング領域は UAV を用いた栽培群落計測を含むべきで大きなものという認識が重要である。農作物の植物生理・栄養・病理にかかる「光合成産物の動き」・「共生微生物+根系」など、植物フェノミクスのためのセンシング技術の今後の飛躍的な展開に期待したい。

人が行うのが農業であるという事実が重要であり、人の関与の重要性は今後も不变である。圃場 IoT や農業 CPS の実現により「人の重要性の質が変化すること」を意識した「標準化・共通化活動」、「培われてきた技術と標準をベースした体系化」など、時代に即した技術教育と技術の普及体制の確立が求められる。

(2017年5月13日受付)

亀岡孝治 ■ kameoka@mie-u.ac.jp

1984年東京大学大学院農学系研究科博士課程修了。1998年より三重大学教授。2004年より2007年まで三重大学理事・副学長。専門領域は農業情報工学・食品化学工学、農業情報学会副会長、農学博士。